

高萩アンテナ22GHzのビームパターンと開口能率

19s2013n 音喜多優也

指導教員:米倉寛則・百瀬宗武

概要・目的

茨城県高萩市と日立市にまたがる国立天文台茨城観測局内に設置されている2台の32m電波望遠鏡のうち、日立アンテナの6GHz帯と8GHz帯（LHCPとRHCP両方）、高萩アンテナの8GHz帯（RHCPのみ）は先行研究[1]で既に性能評価済みである。今回はまだ性能評価を行っていない高萩アンテナの22GHz帯を扱った。具体的にはアンテナ感度の角度依存性である「ビームパターン」と物理的な開口面積に対する有効面積の割合である「開口能率」を調べた。これにより32m高萩アンテナと想定している理想的な32mアンテナがどの程度の差があるのかを知ることができ、それをもとに高萩アンテナで観測されたデータをより正確な値に補正することを目的としている。

方法

木星をOn the Fly法で観測（20回観測）

On the Fly法とは、図1のように領域内にアンテナを向け動かしながら、連続的にデータを取得する方法である。今回は木星を中心とした10×10arcminを領域とした。2022/12/08に木星を対象に20回観測を行い、観測時刻・アンテナの角度・アンテナ温度を記録した。

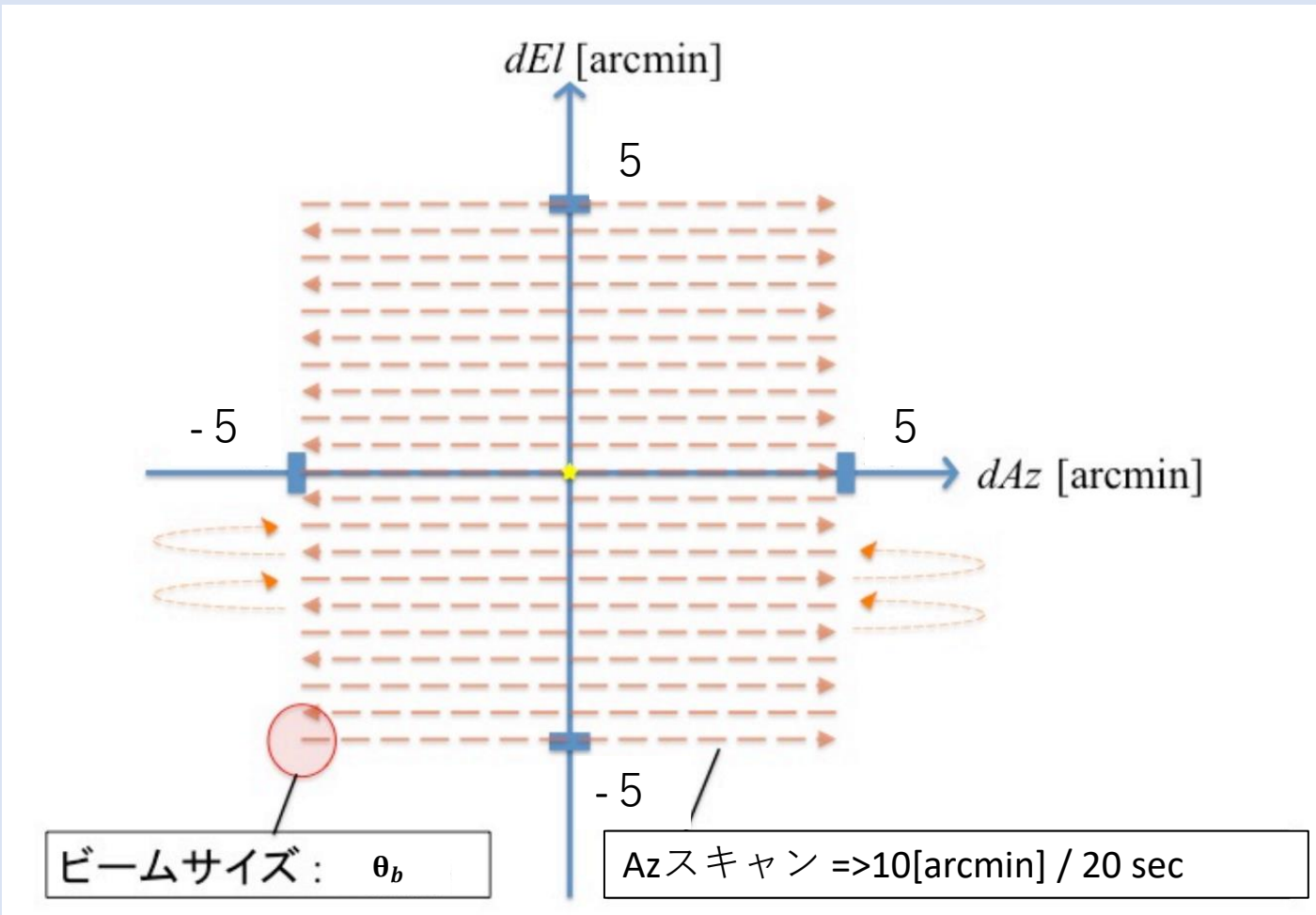


図1 十字スキャン
[2]より引用(改変)

観測データをガウシアンでFitting

ビームパターンは図2のような受信感度の角度依存性であることが知られているが、今回はビームパターンをガウシアンであると仮定した。観測データをガウシアンでFittingしその半値全幅θbを求めた。その際、観測データをプロットし明らかにガウシアンでFittingするのに適していない観測データは除外した。

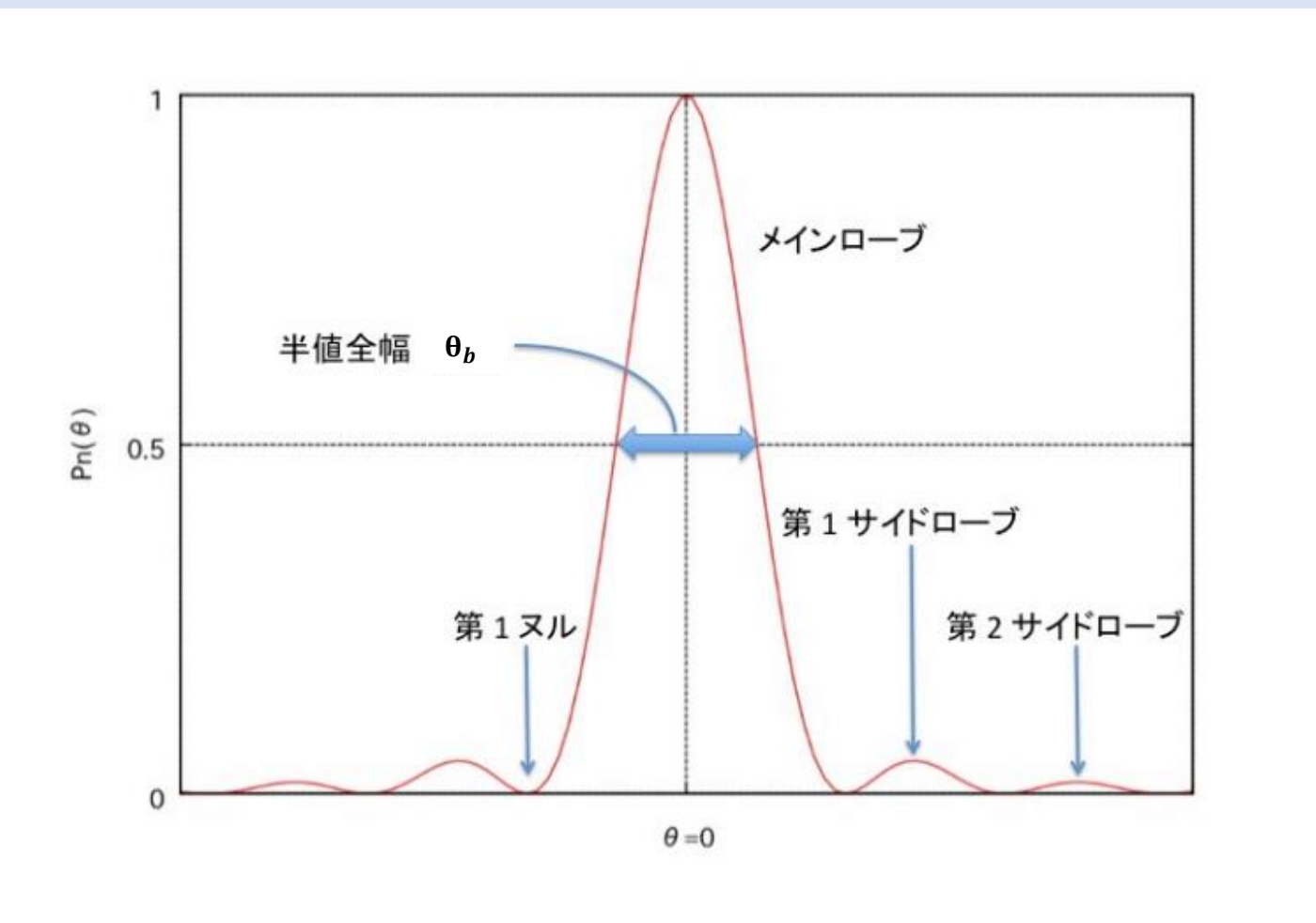


図2 ビームパターン
[2]より引用

PlotとFittingにはGnuplotを使用した。

開口能率：物理的な開口面積に対する有効な開口面積の割合

観測対象として選択した木星は点源ではなく広がりがある天体であるため、その輝度温度分布は半値全幅θsのガウシアンとする。直径32mアンテナの開口能率ηAは以下の式から求めた。

$$\eta_A = \left(\frac{0.3}{f(\text{GHz})} \right) \frac{1}{804.248} \frac{T_A^*}{T_B} \frac{1}{1 - \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{\theta_s}{\theta_b} \right)^2 \right]} \frac{1}{1.13309 \left(\frac{\theta_b}{206264} \right)^2}$$

T_A^* : アンテナ温度 $T_A^* = S/3.43 \text{ K}$ (S : フラックス密度[Jy])

T_B : 天体の輝度温度 $T_B = 152.4 \text{ K}$

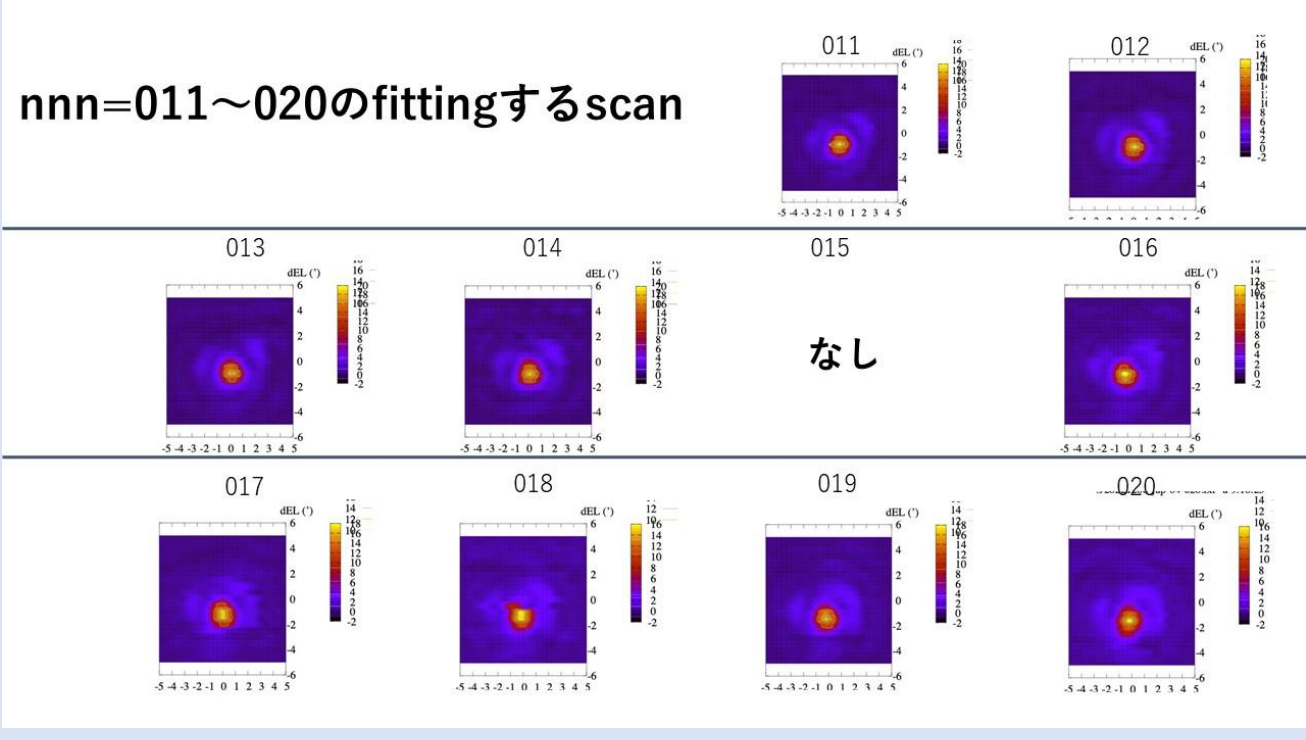
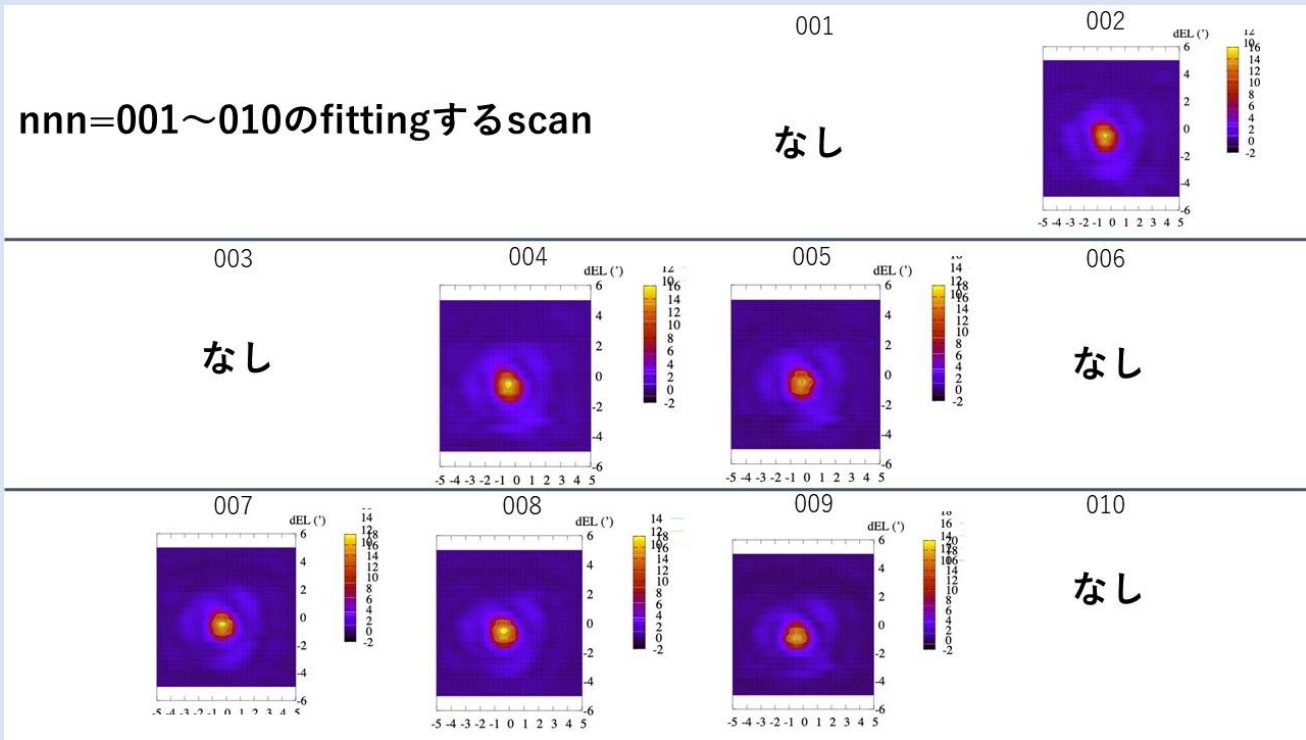
θ_s : 木星の視直径 $\theta_s = \sqrt{(\text{赤道視半径})^2 + (\text{極視半径})^2} = \sqrt{21.28^2 + 19.90^2} = 20.5784 \text{ arcsec}$

θ_b : ビームパターンの半値全幅 $\theta_b = \sqrt{\theta_{\text{obs}}^2 - \theta_s^2}$ θ_{obs} : 木星を観測したときの半値全幅

フラックス密度Sは観測により計測、木星の輝度温度TBは[3]から引用。木星の視直径θsは国立天文台サイト内の惑星の地心座標<https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/planet.cgi>から観測当日の赤道視半径と極視半径を引用し、計算した。

結果

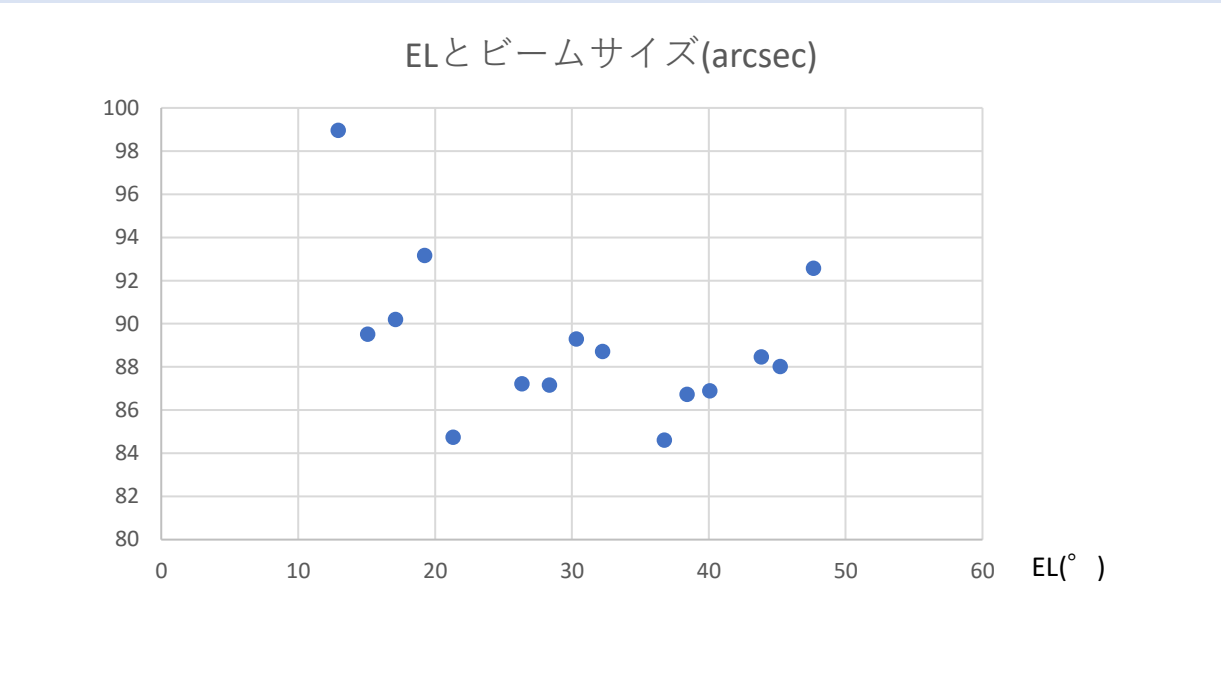
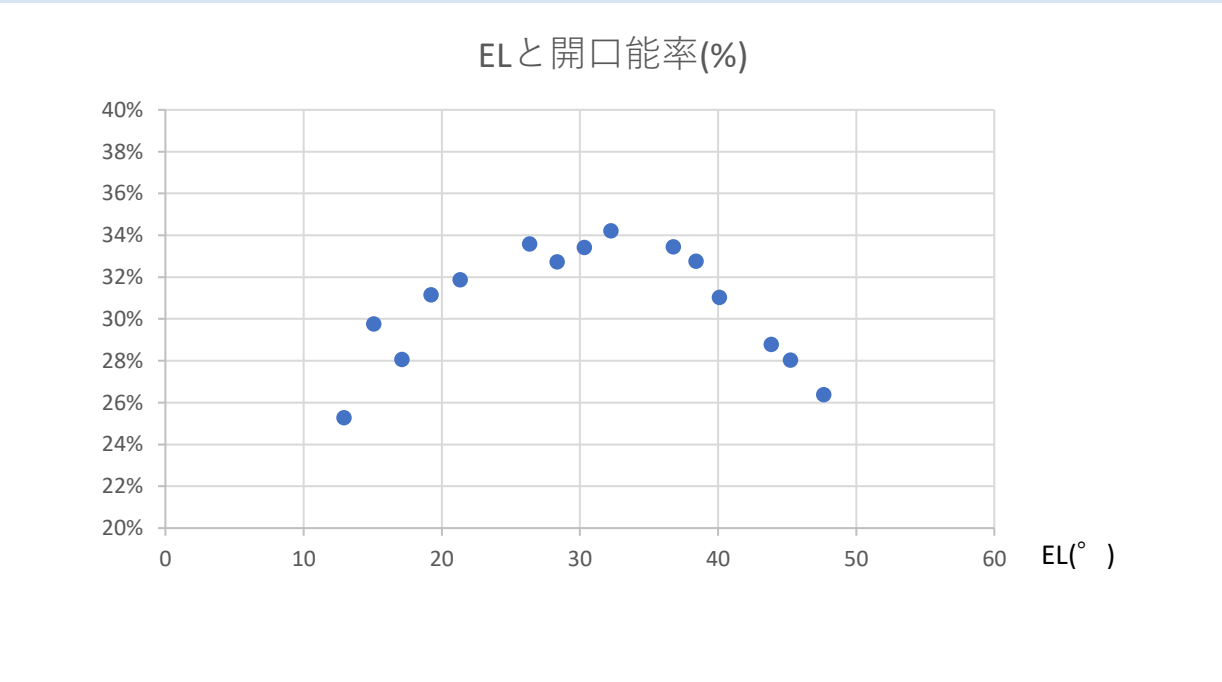
20回の観測データをプロットした。その中でガウシアンでFittingできると判断したものは以下のとおりである。nnnは観測番号を表す。



ガウシアンフィッティングを行った観測データの観測時刻、EL、peak値、半値全幅、開口能率の値は以下のとおりである。

-nnn	時刻(peak時)	EL(deg)(peak時)	peak値[Jy](実値)	peak値[Jy] (fit値)	半値全幅[arcmin](fit値)	開口能率
-001(Fit無し)						
-002	10:45:40	47.6538	14.931867	14.7009	1.68849	26%
-003(Fit無し)						
-004	11:07:40	45.2272	15.453318	15.5117	1.61941	28%
-005	11:18:40	43.8505	16.092403	15.94	1.62627	29%
-006(Fit無し)						
-007	11:45:40	40.0842	17.650595	17.141	1.60241	31%
-008	11:56:40	38.4122	17.824678	18.0926	1.59998	33%
-009	12:07:09	36.7478	18.217702	18.4006	1.56813	33%
-010(Fit無し)						
-011	12:34:10	32.24	18.85798	18.9537	1.62994	34%
-012	12:45:10	30.3194	19.008747	18.5352	1.63873	33%
-013	12:56:10	28.3577	18.154149	18.0905	1.60638	33%
-014	13:07:10	26.3589	18.688483	18.5594	1.60732	34%
-015(Fit無し)						
-016	13:34:10	21.3258	17.792966	17.5412	1.57017	32%
-017	13:45:10	19.2308	17.026214	17.3792	1.69763	31%
-018	13:56:10	17.1152	15.67462	15.5848	1.65248	28%
-019	14:06:40	15.0718	16.528989	16.5089	1.6422	30%
-020	14:17:40	12.926	15.564667	14.2121	1.78629	25%

ELと開口能率のグラフ、ELとビームサイズ（半値全幅）のグラフを作ると次のようになった。



考察

表のPeak値を見ると、アンテナで観測される強度はアンテナのELによって差が生じていることが分かる。ガウシアンと仮定して導出したビームパターンもELによりその半値全幅が変化している。開口能率は約25～35%であることがわかり、これもELにより明確な差異があることが確認できた。

課題

ビームパターンと開口能率のある程度の式や値はわかったが、補正量を決めることはまだできていない。また、22GHz帯では主ビーム能率や指向精度等の情報も取得できていないため、それらを調べる余地がある。

参考文献

- [1] Yonekura, Y., et al. 『The Hitachi and Takahagi 32 m radio telescopes: Upgrade of the antennas from satellite communication to radio astronomy』 2016, PASJ, 68, 74
- [2] Kurihashi, J., 『茨城 32m 電波望遠鏡日立アンテナの能率測定と評価』 2011年度, 茨城大学修士学位論文
- [3] Ulich, B. L., 『 Millimeter-wavelength continuum calibration sources』 1981, AJ, 86, 1619-1626